

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-298460

(43)Date of publication of application : 12.11.1996

(51)Int.CI. H03L 7/24
H03B 19/00(21)Application number : 07-349985 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
(22)Date of filing : 25.12.1995 (72)Inventor : KAMOGAWA KENJI
TOKUMITSU TSUNEO

(30)Priority

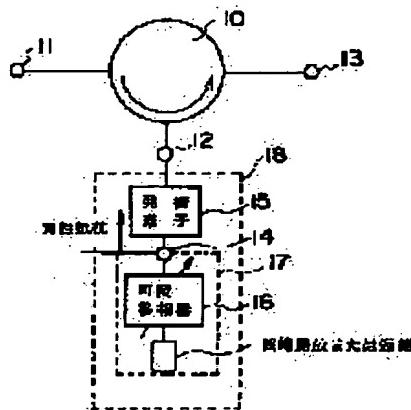
Priority number : 07 61614 Priority date : 27.02.1995 Priority country : JP

(54) INJECTION SYNCHRONIZATION OSCILLATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To realize a wide frequency lock range by using a variable phase shifter so as to change a free oscillating frequency.

CONSTITUTION: A signal received from a terminal 11 of a 3-terminal circulator 10 is delivered only to a terminal 12 and the signal received from the terminal 12 is delivered only to a terminal 13, and the delivery of the signal from the terminal 12 to the terminal 11 and from the terminal 13 to the terminals 11, 12 is not allowed. An oscillator 18 comprising an oscillating element 15 and a resonator 17 acts like an oscillator whose free oscillation frequency is decided by a signal of a terminal 14 reflected from the oscillator 17. An injection signal is given to the terminal 11 of the circulator 10 and the oscillator 18 is oscillated by the injection signal to change a phase amount of a variable phase shifter 16, then the free oscillation frequency is changed and a wide frequency lock range is realized even in the case of a small injection signal level.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3220896

[Date of registration] 17.08.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-298460

(43)公開日 平成8年(1996)11月12日

(51)Int.Cl.⁶
H 03 L 7/24
H 03 B 19/00

識別記号 庁内整理番号

F I
H 03 L 7/24
H 03 B 19/00

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 FD (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平7-349985

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

(22)出願日 平成7年(1995)12月25日

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(31)優先権主張番号 特願平7-61614

(72)発明者 鴨川 健司

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

(32)優先日 平7(1995)2月27日

電信電話株式会社内

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(72)発明者 德満 恒雄

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

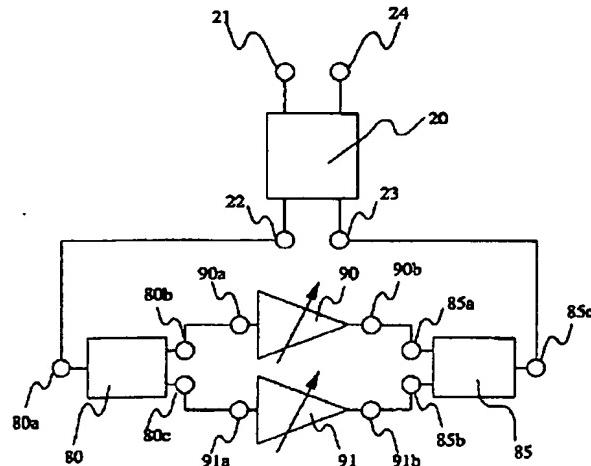
(74)代理人 弁理士 山本 恵一

(54)【発明の名称】注入同期発振器

(57)【要約】

【課題】注入信号が小さな場合およびサブハーモニック係数の大きい注入信号の場合でも広い周波数引込範囲を可能とする注入同期発振器を提供することを目的とする。

【解決手段】 サーキュレータ (10)、または方向性結合器 (20) または非可逆4端子回路 (30) により端子間を分離し、入力端子 (11) と出力端子 (13) と発振回路 (18) 又は帰還回路を接続する。発振回路又は帰還回路に可変移相器 (16、70) 又は90度移相器 (80) と可変増幅器 (90、91) と同相合成回路 (85) を接続して自由発振周波数を変化させることにより発明の目的が達成される。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1、第2および第3の端子を有し、第1の端子から第2の端子および第2の端子から第3の端子への信号伝達が非可逆なサーキュレータと、前記第2の端子に前記サーキュレータの動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する発振素子と可変移相器を含む先端開放または短絡の共振器とからなる発振器が接続され、前記第1の端子から注入信号を入力し、第3の端子から発振出力を得ることを特徴とする注入同期発振器。

【請求項2】 第1、第2、第3および第4の端子を有し、第1の端子と第3の端子間および第2の端子と第4の端子間が電気的にアイソレートされた方向性結合器と、前記第2の端子と前記第3の端子間に前記方向性結合器の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する増幅器と可変移相器を有し、前記第1の端子に注入信号を入力し、前記第4の端子から発振出力を得ることを特徴とする注入同期発振器。

【請求項3】 第1、第2、第3および第4の端子を有し、第1の端子と第3の端子間および第2の端子と第4の端子間が電気的にアイソレートされた方向性結合器と、前記第2の端子と前記第3の端子間に前記方向性結合器の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する90度分配器と、該分配器の各出力に接続される2つの可変増幅器と、該可変増幅器の出力に接続される同相合成回路を有し、前記第1の端子に注入信号を入力し、前記第4の端子から発振出力を得ることを特徴とする注入同期発振器。

【請求項4】 第1および第2の入力端子と第1および第2の出力端子を有し、第1の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第2の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第1の入力端子と第2の入力端子間および第1の出力端子と第2の出力端子間が電気的にアイソレートされた非可逆4端子回路と、前記第1の出力端子と前記第2の入力端子間に前記4端子回路の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する増幅器と可変移相器を有し、前記第1の入力端子に注入信号を入力し、前記第2の出力端子から発振出力を得ることを特徴とする注入同期発振器。

【請求項5】 第1および第2の入力端子と第1および第2の出力端子を有し、第1の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第2の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第1の入力端子と第2の入力端子間および第1の出力端子と第2の出力端子間が電気的にアイソレートされた非可逆4端子回路と、前記第1の出力端子と前記第2の入力端子間に前記4端子回路の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する90度分配器と、該分配器の各出力に接続される可変増幅器と、該可変増幅器の出力に接続される同相

合成回路を有し、前記第1の入力端子に注入信号を入力し、前記第2の出力端子から発振出力を得ることを特徴とする注入同期発振器。

【請求項6】 前記非可逆4端子回路が4個のゲート接地FETを有し、第1のゲート接地FETのソースと第2のゲート接地FETのソースとを前記第1の入力端子に接続し、第3のゲート接地FETのソースと第4のゲート接地FETのソースを前記第2の入力端子に接続し、第1のゲート接地FETのドレンと第3のゲート接地FETのドレンとを前記第1の出力端子に接続し、第2のゲート接地FETのドレンと第4のゲート接地FETのドレンとを前記第2の出力端子に接続したことを特徴とする請求項4又は5記載の注入同期発振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、マイクロ波帯およびミリ波帯注入同期発振器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図8は従来のサーキュレータを用いた注入同期発振器の例である。サーキュレータ100の一端子102に発振回路104を接続し、サーキュレータ端子103より発振出力を取り出す構成の発振器において、第1番目のサーキュレータ端子101に外部強制信号を入力して注入同期を行なうものである。矢印はサーキュレータの信号伝達方向を示し、この方向性（非可逆性）によって端子間を分離している。発振回路には、導波管短絡面からある距離に負性抵抗ダイオードを配置して共振させる構造や、ストリップ導体を共振に用いる構造などがある。

【0003】 図9は方向性結合器と増幅器を組み合わせた注入同期発振器の例であり、方向性結合器110の端子111から信号が注入され、通過端子112とアイソレーション端子113との間に増幅器115を接続している。ここで、方向性結合器の端子113と端子112は増幅器から見て結合端子であり、増幅器115の入出力間に帰還回路を形成し、112-115-113-112のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき発振を生じる。この発振器に端子111を介して注入信号が入力されると、発振周波数が注入信号に同期し、発振出力は端子114から取り出される。

【0004】 しかし、図8および図9の注入同期発振器は、注入信号と発振信号を分離するために非可逆性のサーキュレータや方向性結合器を使用するため、フェライトディスクの直径・厚みあるいは $1/4$ 波長線路に起因する動作周波数帯域制限が存在した。その帯域は中心周波数の10%ないし50%程度である。従って、サブハーモニック周波数（発振周波数 f_0 の $1/n : n = 2, 3, 4 \dots$ ）の注入信号には同期できなかった。また、フェライト素子を使用するためIC化が困難であつ

た。さらに、発振器ループと注入信号端子または発振出力端子とが電気的に分離されていないため、注入同期発振器に接続される外部回路の影響があった。一方、サブハーモニック注入同期を行なう従来例では、フィルタ機能を有する回路構成によって注入信号経路と発振周波数経路とを電気的に分離せざるを得なかつたので、サブハーモニック係数 $1/n$ が限定されると同時に基本波 ($n = 1$) への同期ができなかつた。

【0005】図10は上記の諸問題を解決する、非可逆4端子回路を用いた注入同期発振器 (IEEE International Microwave Symposium Digest 1994, pp. 13-16) である。端子121または端子121より入力した信号は端子123および124にのみ分配され、端子121-123間および端子122-124間には信号の伝達はない非可逆4端子回路120において、端子123と端子122間に増幅器125を接続している。ここで、端子122と端子123は増幅器125から見て結*

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q_{ext}} \sqrt{\frac{P_1}{P_0}}$$

【0007】ここで、 f_0 は発振器の自由発振周波数、 Q_{ext} は発振器の外部 Q 、 P_0 は発振器の出力、 P_1 は外部からの注入信号電力である。上式より、 Q_{ext} を小さくするほど、あるいは、 P_1 を大きくするほど周波数引込範囲が広くなる。しかし、小さい入力で広い周波数引込範囲を実現することは困難である。※

$$\frac{\Delta f_n}{\Delta f_1} \approx \left(\frac{1}{n} \right)^{1/3}$$

【0009】ここで、 $1/n$ はサブハーモニック係数である。上式より、サブハーモニック係数 $1/n$ が大きくなるとその周波数引込範囲は小さくなる。例えば、 $n = 1$ の基本波を注入した場合の周波数引込範囲が 500 MHz である場合、 $n = 4$ のサブハーモニックの引込範囲は 82 MHz、 $n = 8$ のサブハーモニックの引込範囲は 33 MHz と狭くなり、実用的でなくなる。また、注入同期発振器を倍増器として動作させる場合においても非常に狭帯域な回路となってしまう。

【0010】本発明は従来技術の上記欠点を改善するもので、小さな注入信号の場合およびサブハーモニック係数 n の大きい注入信号を入力する場合でも広い周波数引込範囲を可能とする注入同期発振器を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明の特徴は、第1、第2および第3の端子を有し、第1の端子から第2の端子および第2の端子から第3の端子への信号伝達が非可逆なサーキュレータと、前

*合端子であり、増幅器125の入出力間に帰還回路を形成し、122-125-123-122のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき発振を生じる。この発振器に端子121を介して注入信号が入力されると、発振周波数が注入信号に同期し、発振出力は端子124から取り出される。また、ここでトランジスタで形成した非可逆4端子回路120は、トランジスタの広帯域性によって $n = 1$ の基本波および $n = 2, 3, 4, \dots$ のサブハーモニックに対して4端子回路の動作が保持されるため、サブハーモニック係数 $1/n$ の値を自由に設定可能となり、かつサブハーモニック係数 $1/n$ の小さいサブハーモニックを注入した場合でも注入同期発振する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】一般に、注入同期発振器の周波数引込範囲 Δf は、次式で与えられる。

【数1】

(1)

※【0008】また、サブハーモニック注入同期可能な図10の回路についても、 $n = 1$ の基本波を注入した場合の周波数引込範囲 Δf_1 とサブハーモニックを注入した場合の周波数引込範囲 Δf_n には、次式のような経験的な関係がある。

【数2】

(2)

記第2の端子に前記サーキュレータの動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する発振素子と可変移相器からなる発振器が接続され、前記第1の端子から注入信号を入力し、第3の端子から発振出力を得る注入同期発振器にある。

【0012】また、本発明の別の特徴は、第1、第2、第3および第4の端子を有し、第1の端子と第3の端子間および第2の端子と第4の端子間が電気的にアイソレートされた方向性結合器と、前記第2の端子と前記第3の端子間に前記方向性結合器の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する増幅器と可変移相器を有し、前記第1の端子に注入信号を入力し、前記第4の端子から発振出力を得る注入同期発振器にある。

【0013】本発明の別の特徴は、第1、第2、第3および第4の端子を有し、第1の端子と第3の端子間および第2の端子と第4の端子間が電気的にアイソレートされた方向性結合器と、前記第2の端子と前記第3の端子間に前記方向性結合器の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する90度分配器、可変増幅器と同相合

成回路を有し、前記第1の端子に注入信号を入力し、前記第4の端子から発振出力を得る注入同期発振器にある。

【0014】また、本発明の別の特徴は、第1および第2の入力端子と第1および第2の出力端子を有し、第1の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第2の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第1の入力端子と第2の入力端子間および第1の出力端子と第2の出力端子間が電気的にアイソレートされた非可逆4端子回路と、前記第1の出力端子と前記第2の入力端子間に前記4端子回路の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する90度分配器、可変増幅器と同相合成回路を有し、前記第1の入力端子に注入信号を入力し、前記第2の出力端子から発振出力を得る注入同期発振器にある。

【0015】また、本発明の別の特徴は、第1および第2の入力端子と第1および第2の出力端子を有し、第1の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第2の入力端子から第1の出力端子および第2の出力端子への信号伝達が非可逆であり、第1の入力端子と第2の入力端子間および第1の出力端子と第2の出力端子間が電気的にアイソレートさ*

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q_{err}} \sqrt{\frac{P_i}{P_o}} + \Delta f_0 \quad (3)$$

【0018】これより、注入信号のレベルに関係なく周波数引込範囲は従来の注入同期発振器に比較して自由発振周波数の可変量と同じだけ広がり、小さな注入信号入力に対して広い引込範囲を実現することができる。また、サブハーモニック注入も可能な図9に示す従来例に対しても同様で、前記式(2)で表されるサブハーモニック係数 $1/n$ のサブハーモニックを注入した場合の周波数引込範囲 Δf_n は、

【数4】

$$\Delta f_n = \Delta f_0 \left(\frac{1}{n} \right)^{1/3} + \Delta f_0$$

となる。すなわち、任意のサブハーモニック係数 $1/n$ で広い周波数引込範囲が実現でき、広帯域な周波数倍器としても動作することができる。

【0019】また、90度分配器、可変増幅器および同相合成回路からなる回路は利得のあるベクトル合成の移相器として動作するため、自由発振周波数を変えることができる。まず、図7を用いて動作原理について述べる。図7はある周波数における信号の電気的な振幅と位相関係を極座標系で表したものであり、中心点からの大きさが振幅を示し、円の回転角 θ が位相を示している(1回転は360度)。90度分配器、可変増幅器および同相合成回路の動作周波数におけるある1つの周波数

*れた非可逆4端子回路と、前記第1の出力端子と前記第2の入力端子間に前記4端子回路の動作周波数帯域の少なくとも一部の帯域で動作する90度分配器、可変増幅器と同相合成回路を有し、前記第1の入力端子に注入信号を入力し、前記第2の出力端子から発振出力を得る注入同期発振器にある。

【0016】また、本発明の別の特徴は、前記非可逆4端子回路が4個のゲート接地FETを有し、第1のゲート接地FETのソースと第2のゲート接地FETのソースとを前記第1の入力端子に接続し、第3のゲート接地FETのソースと第4のゲート接地FETのソースを前記第2の入力端子に接続し、第1のゲート接地FETのドレンと第3のゲート接地FETのドレンとを前記第1の出力端子に接続し、第2のゲート接地FETのドレンと第4のゲート接地FETのドレンとを前記第2の出力端子に接続した注入同期発振器である。

【0017】以上のように構成することにより、可変移相器の位相量を変えることにより発振器の位相回りが変化し、自由発振周波数を変えることができる。従って、自由発振周波数の変化量を Δf とすると、注入同期発振器の周波数引込範囲 Δf は次式のように表せる。

【数3】

の信号がループ内に注入すると、まず90度分配器により90度の位相差のある2つの信号として分配され、それぞれ可変増幅器に入力される。そして、可変増幅器により増幅された2つの信号は再び同相合成回路によりベクトル合成され、電気的な位相 θ なる1つの信号としてループに再入力し、ループの利得が1以上あれば自由発振する。従って、2つの可変増幅器の利得を調整することにより、合成回路から出力される信号は図7の点Aから点Bの同心円上で変化できるため発振周波数を大きく変えることができる。即ち、点Bでの発振周波数を f_{osc} とするならば、点Aでの発振周波数は $4/3 f_{osc}$ となるので最大33%の帯域幅で発振周波数を変えることが可能となる。 f_{osc} の信号において点Bのベクトル成分でループ内の位相回りが360度とすると、もう一つのベクトル成分は90度遅れた270度となっているため、A点のベクトル成分を用いて360度の位相回りが得られる周波数は $4/3 f_{osc}$ (= $f_{osc} \times 360/270$)となる。また、90度分配器および同相合成回路の挿入損失が零である場合、可変増幅器に要求される利得が増加することはない。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明による実施例について説明する。

【0021】(第1の実施例) 図1は本発明の注入同期

発振器の第1の実施例である。

【0022】図1において10は3端子サーチュレータであって、11は第1の端子、12は第2の端子、13は第3の端子である。端子11より入力した信号は端子12のみに伝達され、端子12より入力した信号は端子13のみに伝達され、端子12から端子11、端子13から端子11および端子12への信号の伝達はない。図1中の矢印は該信号伝達の様子を示す。16は可変移相器、17は可変移相器16を含む終端開放または短絡の共振器である。共振器17は発振素子15と端子14で接続されており、端子14から発振素子15をみた場合、発振素子15は負性抵抗素子としてみえる。そして、発振素子15と共に共振器17からなる18は、端子14への共振器17からの反射する信号により自由発振周波数が決定する発振器として動作する。サーチュレータ10の端子11から注入信号を入力すると、発振器18は注入信号に同期発振し、端子13を介して出力を得ることができる。また、可変移相器16の位相量によって端子14へ戻ってくる信号の位相量が変わるために、自由発振周波数を変えることができる。従って、図1に示す注入同期発振器は、小さな注入信号入力に対しても広い引込範囲を実現することができる。実施例では、3端子サーチュレータを用いているが、これに限らず4端子あるいはそれ以上の多端子サーチュレータを用いてもよい。

【0023】(第2の実施例)図2は本発明の注入同期発振器の第2の実施例である。

【0024】図2において20は方向性結合器であり、21は第1の端子、22は第2の端子、23は第3の端子、24は第4の端子である。方向性結合器20において、端子21あるいは端子23より入力した信号は端子22と24に伝達され、端子21と端子23は電気的にアイソレートされている。また、60は増幅器で、61と62はそれぞれ入力端子、出力端子である。70は可変移相器（または可変移相器と遅延線路の従属接続）であり、71と72はそれぞれ入力端子、出力端子である。増幅器60の入力端子61は方向性結合器20の端子22に接続され、増幅器60の出力端子62は可変移相器70の入力端子71に接続され、可変移相器70の出力端子72は方向性結合器20の端子23に接続されている。ここで、方向性結合器20の端子23と端子22は増幅器60から見て結合端子であり、増幅器60の入出力間に帰還回路を形成し、22-61-62-71-72-23-22のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき自由発振を生じる。この発振器に端子21を介して注入信号が入力されると、発振周波数が注入信号に同期し、発振出力は端子24から取り出される。また、可変移相器70の位相量によって自由発振周波数を変えることができるため、小さな注入信号入力に対しても広い引込範囲を実現することができ

る。

【0025】(第3の実施例)図3は本発明の注入同期発振器の第3の実施例である。

【0026】図3において20は方向性結合器であり、21は第1の端子、22は第2の端子、23は第3の端子、24は第4の端子である。方向性結合器20において、端子21あるいは端子23より入力した信号は端子22と24に伝達され、端子21と端子23は電気的にアイソレートされている。また、80は90度分配器であり、80aは90度分配器80の入力端子、80bおよび80cは出力端子であり、端子80bと80cは電気的にアイソレートされている。また、90、91は可変増幅器であり、90aと91aは入力端子、90bと91bは出力端子である。さらに、85は同相合成回路であり、85aおよび85bは同相合成回路85の入力端子、80cは出力端子であり、端子85aと85bは電気的にアイソレートされている。90度分配器80の入力端子80aは方向性結合器20の端子22に接続され、90度分配器80の出力端子80b(80c)は可変増幅器90(91)の入力端子90a(91a)に接続され、可変増幅器90(91)の出力端子90b(91b)は同相合成回路85の入力端子85a(85b)に接続され、同相合成回路85の出力端子85cは方向性結合器20の端子23に接続されている。ここで、方向性結合器20の端子23と端子22は可変増幅器90(91)から見て結合端子であり、増幅器90(91)の入出力間に帰還回路を形成し、22-80-90(91)-85-23-22のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき自由発振を生じる。この発振器に端子21を介して注入信号が入力されると、発振周波数が注入信号に同期し、発振出力は端子24から取り出される。

【0027】以上の第3の実施例では、90度分配器80、可変増幅器90(91)および同相合成回路85からなる回路が利得のあるベクトル合成の移相器として動作し、自由発振周波数を最大33%の帯域で変えることができるため、低レベルの注入信号に対しても広い引込範囲を実現することができる。90度分配器、可変増幅器および同相合成回路によるベクトル合成を用いて発振周波数を変化させる方法は、ループ内に可変移相器を挿入する方法に比べて、広い周波数可変を有する注入同期発振器を実現することに適している。即ち、位相量を360度変えられる無限移相器は現在挿入損失が10dB以上あり（例えば、1994年電子情報通信学会秋季大会C-71）、自由発振動作を得るために、さらに10dB以上の利得が増幅器に要求されるため注入同期発振器を実現することが困難となる。また、バイアス制御によるアクティブデバイスの容量可変を用いた移相器では、可変幅に比例して挿入損失が増大するため、現実的には10%程度の帯域しか得られない。一方、90度分

配器となるハイブリッドおよび同相分配器となるウィルキンソンディバイダは20GHz帯でも1dB程度のものが存在しているため（例えば、IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 43, no. 6, pp. 1270-1275, June 1995）、増幅器に対する過大な利得が要求されない。

【0028】（第4の実施例）図4は本発明の注入同期発振器の第4の実施例である。図4において図2と同一のものについては同一の符号を付している。

【0029】30は非可逆4端子回路であって、31は第1の入力端子、33は第2の入力端子、32は第1の出力端子、34は第2の出力端子である。端子31より入力した信号は端子32および34にのみ分配され、端子33より入力した信号は端子32および34のみに分配され、端子31-33間および端子32-34間には信号の伝達はない（アイソレートされている）。図中の矢印は該信号伝達の様子を示す。60は増幅器で、61と62はそれぞれ入力端子、出力端子である。70は可変移相器（または可変移相器と遅延線路の従属接続）であり、71と72はそれぞれ入力端子、出力端子である。増幅器60の入力端子61は4端子回路30の端子32に接続され、増幅器60の出力端子62は可変移相器70の入力端子71に接続され、可変移相器70の出力端子72は4端子回路30の端子33に接続されている。ここで、4端子回路30の端子33と端子32は増幅器60から見て結合端子であり、増幅器60の入出力間に帰還回路を形成し、32-61-62-71-72-33-32のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき自由発振を生じる。

【0030】4端子回路30の端子31より高安定・低位相雜音の信号を入力するとその一部が端子32を介して増幅器60に入力され、発振中の増幅器の非線形性によって高調波が生じる。この高調波が上記自由発振周波数付近の場合には、該発振周波数と高調波とにうねりが生じ、これが零になるように状態が変化して注入信号に同期した発振状態になる。発振出力は端子33を介して端子34に出力され、4端子回路30の非可逆性により信号入力端子31には現れない。従って、端子31が不整合の状態であったとしても発振出力の一部が端子31で反射されて該発振ループに再注入されることはない。また同様に、端子34での反射波は他のどの端子にも現れないので再注入されない。つまり、外部回路の影響を受けにくい構成である。

【0031】また、可変移相器の位相量を変化させ、自由発振周波数を変えれば、自由発振周波数の変化量 Δf_0 に応じて同期する範囲が広がる。すなわち、サブハーモニック係数 $1/n$ が $1/2$ 以下のサブハーモニックを注入した場合の周波数引込範囲 Δf_0 は、

【数5】

$$\Delta f_0 = \Delta f_0 \cdot \left(\frac{1}{n} \right)^{1/2} + \Delta f_0$$

となる。自由発振周波数の変化量 Δf_0 を十分取れば、任意のサブハーモニック係数 $1/n$ において広い周波数引込範囲が実現できる。

【0032】（第5の実施例）図5は本発明の注入同期発振器の第5の実施例である。図5において図3と同一のものについては同一の符号を付している。

- 10 【0033】30は非可逆4端子回路であって、31は第1の入力端子、33は第2の入力端子、32は第1の出力端子、34は第2の出力端子である。端子31より入力した信号は端子32および34にのみ分配され、端子33より入力した信号は端子32および34のみに分配され、端子31-33間および端子32-34間には信号の伝達はない（アイソレートされている）。図中の矢印は該信号伝達の様子を示す。また、80は90度分配器であり、80aは90度分配器80の入力端子、80bおよび80cは出力端子であり、端子80bと80cは電気的にアイソレートされている。また、90、91は可変増幅器であり、90aと91aは入力端子、90bと91bは出力端子である。さらに、85は同相合成回路であり、85aおよび85bは同相合成回路85の入力端子、85cは出力端子であり、端子85aと85bは電気的にアイソレートされている。90度分配器80の入力端子80aは4端子回路30の端子32に接続され、90度分配器80の出力端子80b（80c）は可変増幅器90（91）の入力端子90a（91a）に接続され、可変増幅器90（91）の出力端子90b（91b）は同相合成回路85の入力端子85a（85b）に接続され、同相合成回路85の出力端子85cは4端子回路30の端子33に接続されている。ここで、4端子回路30の端子33と端子32は可変増幅器90（91）から見て結合端子であり、増幅器90（91）の入出力間に帰還回路を形成し、32-80-90（91）-85-33-32のループの位相回りが 2π の整数倍で1以上の利得を有するとき自由発振を生じる。この発振器に端子31を介して注入信号が入力されると、発振周波数が注入信号に同期し、発振出力は端子34から取り出される。

【0034】以上の第5の実施例によれば、本発明の第3の実施例と同様の効果に加えて、サブハーモニック係数nの大きなサブハーモニックに対しても最大33%の帯域で周波数同期範囲を広げることができる。

【0035】（第6の実施例）図6は本発明の注入同期発振器の第6の実施例である。

【0036】図6において、41、42、51および52はそれぞれゲート接地点FET、40および50はゲート接地点FET 2つを図6内のように組み合わせた同相分配回路である。また、図6において図4と同一のものに

11

ついては同一の符号を付している。ここで、トランジスタとして電界効果トランジスタを用いているので、Sはソース、Dはドレイン、Gはゲートを表す。

【0037】4端子回路30では端子44(54)および端子45(55)に出力した信号はそれぞれ端子34(32)、端子32(34)に伝達され、端子34(32)から端子31(33)、32(34)、33(31)への伝達は該分配回路の非可逆性により阻止される。また、各分配1回路の出力端子インピーダンスは非常に高いから端子32および端子34には分配回路で分配される信号がそのまま伝達する。従って、図6中の4端子回路30に設定した信号経路が任意の周波数で(広帯域に)成立する。この非可逆4端子回路30、増幅器60および可変移相器70を図6のように組み合わせることにより、 $n=1$ の基本波および $n=2, 3, 4 \dots$ のサブハーモニックに対して同期する注入同期発振器を実現できる。また、可変移相器により位相量を変えることによりループ32-61-62-71-72-33-32で自由発振する周波数を変えることができる。自由発振周波数の変化は、すべての注入信号に対する周波数引込範囲の広帯域化につながるため、従来の注入同期発振器では困難であったサブハーモニック係数nの大きなサブハーモニックに対しても広い周波数同期範囲を有する注入同期発振器を実現できる。

【0038】(他の実施例)第4から第6の実施例において、電界効果トランジスタの代わりにパイポーラトランジスタを用いてもよい。また、実施例ではゲート接地FETを用いているが、これに限らず他の接地形式(ドレイン接地またはソース接地)を用いてもよい。ソース接地の場合には分配回路40および50が利得を有するので、増幅器60の利得は必ずしも1以上である必要はない。

【0039】また、第3および第5の実施例において、発振ループ内に90度分配器、可変増幅器および同相合成回路を順に挿入したが、同相分配器、可変増幅器および90度合成回路であっても利得のあるベクトル合成の移相器として動作するため、同様の効果を得る。

【0040】

【発明の効果】以上記述したように本発明によれば、3つの端子を有するサーチュレータの一端子に、該サーチュレータの動作周波数帯域内的一部帯域で動作する発振素子と可変移相器を接続し、かつ他の端子を注入信号の入力端子、他の端子を発振出力端子としたので、また、方向性結合器と、該方向性結合器の動作周波数帯域内的一部帯域で動作する増幅器と可変移相器を具備し、かつ該方向性結合器の1つの端子を注入信号の入力端子とし、かつ該端子の通過端子とアイソレーション端子間に該増幅器と該可変移相器を接続し、かつ他の通過端子を発振出力端子としたので、また、2つの入力端子と2つの出力端子とを有し、該入力端子と該2つの出力端子間

12

の信号伝達が非可逆的で、かつ該入力信号端子間及び該出力端子間が電気的にアイソレートされた非可逆4端子回路を具備し、該4端子回路の動作周波数帯域内的一部帯域で動作する増幅器と可変移相器を具備し、該4端子回路の1つの出力端子と1つの入力端子との間に該増幅器と該可変移相器を接続し、他の入力端子を注入信号の入力端子、他の出力端子を発振出力端子としたので注入同期発振器を構成することができる。

【0041】本発明の注入同期発振器は、可変移相器により自由発振周波数を変えることができるので、小さな注入信号レベルの入力の場合でも、従来に比較して広い周波数引込範囲を実現できる。また、大きなサブハーモニック係数のサブハーモニック注入信号に対しても広い引込範囲を実現できる。

【0042】また、非可逆4端子回路はトランジスタ主体で構成できるので、IC化して非常に小さく実現できる。また、トランジスタの非可逆性により自由発振を行なう部分と注入信号入力端子と発振信号出力端子とがお互いに分離できるので、外部に接続される回路や負荷の影響を受けにくくすることができる。また、トランジスタの広帯域性によって非常に広い周波数範囲の注入信号に対して同期できるので、サブハーモニック係数nを自由に選択することができる。従って、市販のシンセサイザ等と組み合わせて、通常器を用いずに非常に簡易で経済的なマイクロ波帯およびミリ波帯局部発振器・シンセサイザを構成することができる。

【0043】また、ループ内に利得のあるベクトル合成の移相器として動作する90度分配器、可変増幅器および同相合成回路を挿入することにより、自由発振周波数を最大33%の帯域で変えることができるため、注入信号が低いレベルである場合でも、また高次のサブハーモニックである場合でも従来に比較して広い引込範囲を実現することができる。ベクトル合成による発振周波数を変える方法は増幅器に対する過大な利得が必要ないため、広い周波数引込範囲を有する注入同期発振器を容易に実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図2】本発明の第2の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図3】本発明の第3の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図4】本発明の第4の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図5】本発明の第5の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図6】本発明の第6の実施例である注入同期発振器の回路図である。

【図7】90度分配器、可変増幅器および同相合成回路

13

からなるベクトル合成の移相器の動作原理図である。

【図8】サーキュレータを用いた従来の注入同期発振器の回路図である。

【図9】方向性結合器を用いた従来の注入同期発振器の回路図である。

【図10】非可逆4端子回路を用いた従来の注入同期発振器の回路図である。

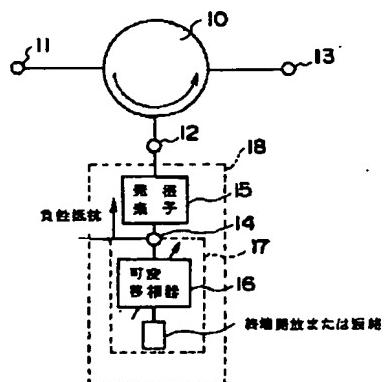
【符号の説明】

- 10 3端子サーキュレータ
- 11、12、13、14 端子
- 15 発振素子
- 16 可変移相器
- 17 共振器
- 18 発振器
- 20 方向性結合器
- 21、22、23、24 端子
- 30 非可逆4端子回路
- 31、32、33、34 端子
- 40、50 ゲート接地FET分配回路
- 41、42、51、52 ゲート接地FET
- 43、44、45、53、54、55 端子

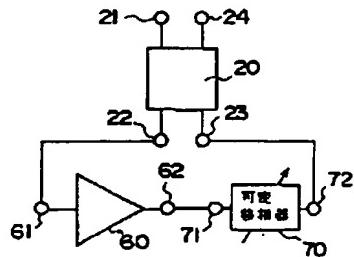
14

- 60 増幅器
- 70 可変移相器
- 61、62、71、72 端子
- 80 90度分配回路
- 80a、80b、80c 端子
- 85 方向性結合器
- 85a、85b、85c 端子
- 90、91 可変増幅器
- 90a、90b、91a、91b 端子
- 100 サーキュレータ
- 101、102、103 端子
- 104 発振回路
- 110 方向性結合器
- 111、112、113、114 端子
- 115 増幅器
- 120 非可逆4端子回路
- 121、122、123、124 端子
- 125 増幅器
- S ソース
- D ドレイン
- G ゲート

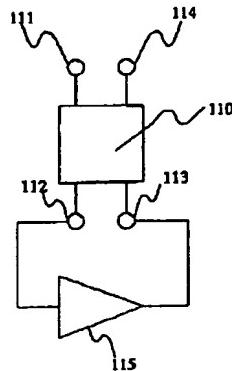
【図1】



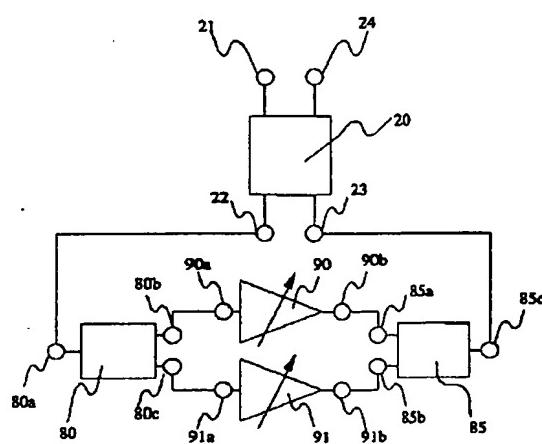
【図2】



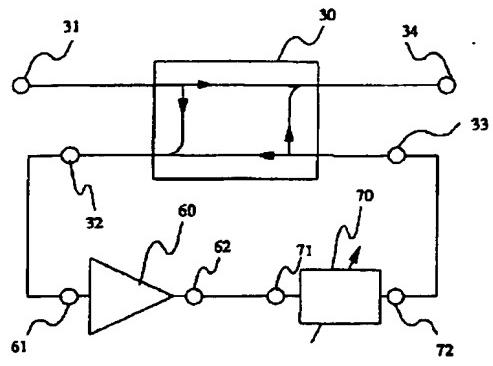
【図3】



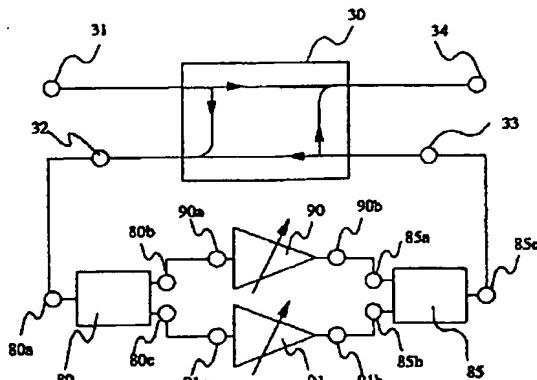
【図4】



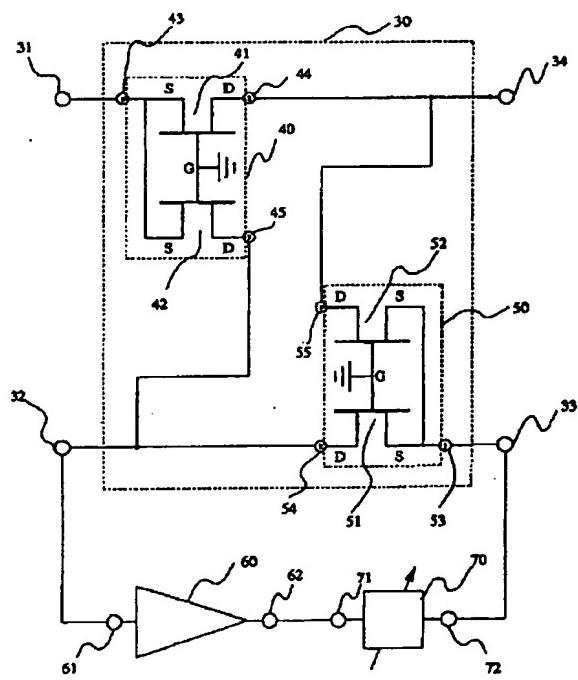
【図4】



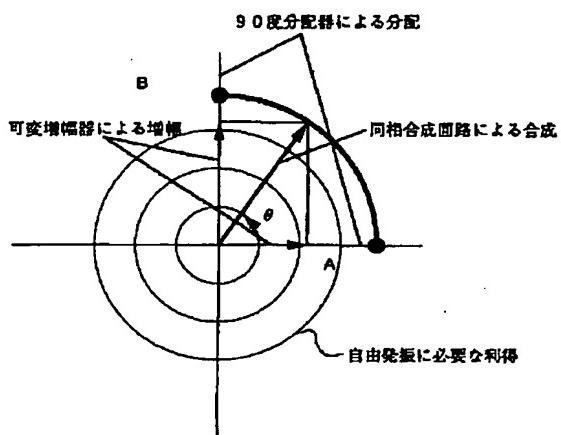
【図5】



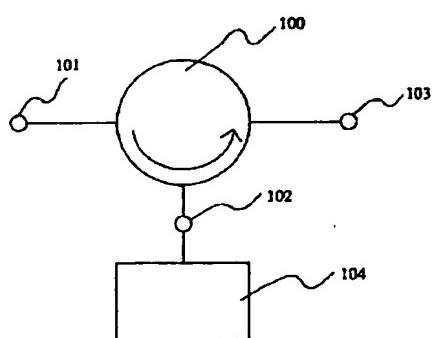
【図6】



【図7】



【図8】



【図10】

